

Импульсные электрические поля – нетермические методы обработки для сохранения продуктов питания

Челомбитько М.А., к.с.-х.н., доцент, **Корко В.С.**, к.т.н., доцент, **Зяц А.О.**, студент
Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск, Беларусь

Введение. Применение технологий нетепловой обработки (NTP – non-thermal processing) находит широкое использование в пищевой промышленности. Отсутствие тепла в этих технологиях дает некоторые преимущества, такие как сенсорные и питательные свойства продукта, остающиеся нетронутыми и, таким образом, обеспечивающие получение продукта с лучшим качеством по сравнению с традиционными тепловыми методами обработки.

Материалы и методы. Проведен анализ научной литературы по использованию технологии коротких импульсов электрического поля (PEF – Pulsed electric field processing) для обработки сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов с различными целями.

Результаты и обсуждение. Технология PEF может быть использована для антимикробной обработки различных пищевых продуктов для улучшения сохранности или безопасности пищевых продуктов, для извлечения некоторых высокоценных соединений из пищевой матрицы или для стабилизации различных пищевых продуктов путем инактивации некоторых ферментов или катализаторов.

Импульсные электрические поля (PEF) определяются как применение короткого всплеска электрических полей в диапазоне 20-80 кВ / см в течение от микро до миллисекунд, что предотвращает нагрев пищевых продуктов с высокой частотой, а электрические поля применяются как логарифмический, экспоненциальный спад, мгновенное обращение заряда, монополярность, а также биполярные импульсы. Напряженность электрического поля и время обработки – два самых важных фактора, участвующих в обработке PEF.

Когда импульсы электрического поля высокой интенсивности прикладываются к пищевому материалу, проходящему через камеру обработки, погруженную внутрь генератора импульсов, электричество подводится к пище за счет присутствия ионов. Наиболее распространенными ионами в образцах пищевых продуктов являются ионы водорода, и поэтому PEF в основном применяется к продуктам с повышенной кислотностью, таким как фруктовые соки и молоко.

Некоторые важные аспекты технологии импульсного электрического поля – это генерация напряженности электрического поля высокой интенсивности, конструкция камер, которые обеспечивают равномерную обработку продуктов с минимальным повышением температуры, и конструкцию электродов, которые минимизируют эффект электролиза. Большие напряженности поля достигаются за счет накопления большого количества энергии в конденсаторной батарее (серии конденсаторов) от источника постоянного тока, которая затем разряжается в форме импульсов высокого напряжения.

Хорошо известно, что когда к образцам пищевых продуктов прикладывается электрическое поле, пища может развивать сопротивление приложенному электрическому полю. Это электрическое сопротивление вызывает ряд реакций, таких как тепловой нагрев, электролиз, разрушение клеточной мембраны и ударные волны, вызванные дуговым разрядом, возникающие во время обработки.

Инактивация микроорганизмов, подвергнутых воздействию высоковольтных PEF, связана с электромеханической неустойчивостью клеточной мембраны. Мембрану можно рассматривать как конденсатор, заполненный диэлектриком. Применение электрических полей к биологическим клеткам в среде (например, воде) вызывает накопление электрических зарядов на клеточной мембране. Разрушение мембраны происходит, когда индуцированный мембранный потенциал превышает критическое значение 1 В во многих клеточных системах, что, например, соответствует внешнему электрическому полю около 10 кВ / см для *E. coli*.

Было предложено несколько теорий для объяснения микробной инактивации с помощью PEF. Среди них наиболее изученными являются электрический пробой и электропорация или разрушение клеточных мембран.

Увеличение мембранного потенциала приводит к уменьшению толщины клеточной мембраны. Пробой мембраны происходит, если критическое напряжение пробоя порядка 1 В достигается путем дальнейшего увеличения напряженности внешнего поля. Предполагается, что пробой вызывает образование трансмембранных пор (заполненных проводящим раствором), что приводит к немедленному разряду на мембране и, следовательно, к разложению мембраны. Пробой обратим, если поры продукта малы по отношению к общей поверхности мембраны. Если напряженность поля выше критической и с большим временем экспозиции, большие участки мембраны подвергаются разрушению. Если размер и количество пор становятся большими по отношению к общей поверхности мембраны, обратимый пробой превращается в необратимый пробой, который связан с механическим разрушением клеточной мембраны.

Электропорация – это явление, при котором в клетке, подвергнутой воздействию импульсов электрического поля высокой напряженности, временно дестабилизируются липидный слой и белки клеточных мембран. Мембраны клеток становятся проницаемыми для малых молекул после воздействия на них электрическим полем, а затем проникновение вызывает набухание и возможный разрыв клеточной мембраны.

Импульсные электрические поля могут инактивировать не только микроорганизмы, но и некоторые ферменты, нарушая их вторичные или третичные структуры, что приводит к конформационным изменениям. Импульсные электрические поля, инактивируя микроорганизмы и некоторые ферменты, обеспечивают безопасную и стабильную пищу, а также могут поддерживать или повышать пищевую ценность. Например, в винах, обработанных импульсными электрическими полями на стадии хранения, наблюдается более высокое удерживание фенольных соединений и меньшее разложение летучих веществ. Антиоксидантная активность пептидов кедрового ореха может быть улучшена обработкой импульсным электрическим полем. Также наблюдалась более высокая концентрация каротиноидов в обезжиренном фруктовом соке и напитках из цельного молока.

В настоящее время доступны только две коммерческие системы для применения PEF: PurePulse Technologies, Inc. и Thomson-CSF. Они классифицируются как статические (U-образные стальные камеры из полистирола и стеклянной катушки) или непрерывные (камеры с ионно-проводящей мембраной, камеры с отражателями, усовершенствованные камеры обработки электрического поля и коаксиальные камеры).

Выводы. Западные исследователи говорят о необходимости испытания инактивации микроорганизмов в вязких и жидких пищевых продуктах, содержащих твердые частицы. Успешная непрерывная система обработки PEF для промышленного использования еще не разработана. Высокие первоначальные затраты на создание системы обработки PEF являются основным препятствием, стоящим перед теми, кто будет проводить промышленное применение системы. Инновационные разработки в области высоковольтной импульсной технологии позволяют снизить затраты на генерацию импульсов и сделают PEF конкурентоспособной с методами термической обработки.

Полученные результаты представляют интерес для использования в отечественных научных исследованиях и на предприятиях агропромышленного комплекса.

Литература

1. Barba, F. J., Parniakov, O., Pereira, S. A., Wiktor, A., Grimi, N., Boussetta, N., et al. Current applications and new opportunities for the use of pulsed electric fields in food science and industry. *Food Res. Int.* 2015. V. 77. P. 773–798.

2. Mathavil V., Sujatha G., Bhavani Ramya S., Karthika Devi B. New trends in food processing. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, Jan. 2013. Vol.5, Issue 2, pp. 176-187.
3. Marx, G., Moody, A. & Bermúdez- Aguirre, D. A comparative study on the structure of *Saccharomyces cerevisiae* under nonthermal technologies: high hydrostatic pressure, pulsed electric fields and thermo-sonication. *International Journal of Food Microbiology*. 2011. Vol. 151. P. 327–337
4. Siemer C, Aganovic K, Toepfl S, et al. Application of Pulsed Electric Fields in Food. *Conventional and Advanced Food Processing Technologies*. 2015. P. 645–672.
5. Toepfl, S. Pulsed Electric Field food treatment – scale up from lab to industrial scale. *Procedia Food Sci*. 2011. V. 1. P. 776–779.